

1. Molino P. *Proprietes cohomologiques et proprietes topologiques des feuilletages a connexion transverse projectable* // Topology. – 1973. – No 12. – P. 317–325.

2. Kamber F., Tondeur P. *G-foliations and their characteristic classes* // Bull. Amer. Math. Soc. – 1978. – V. 84. – P. 1086–1124.

3. Белько И. В. *Аффинные преобразования трансверсально проектируемых связностей на слоенном многообразии* // Матем. сборник. – 1982. – Т. 117. – С. 181–195.

4. Michor P. *Manifolds of differentiable mappings* // Shiva Math. Series. – 1980.

5. Macias-Virgos E., Sanmartin E. *Manifolds of maps in riemannian foliation* // Geometria dedicata. – 2000. – P. 143–156.

6. Walker A. G. *Connexions for parallel distributions in the large* // Quart. J. Math. Oxford. – 1955. – V. 6. – P. 301–308.

7. Willmore T. J. *Connexions for sistems of parallel distributions* // Quart. J. Math. Oxford. – 1956. – V. 7. – P. 269–276.

В. С. Желтухин, В. Ю. Чебакова

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
vzheltukhin@gmail.com, vchebakova@mail.ru*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

В настоящее время высокочастотные емкостные разряды (ВЧЕ-разряды) широко используются в различных технологических процессах, созданы и исследованы модели, подробно описывающие свойства ВЧЕ-разрядов при межэлектрод-

ных расстояниях $d = 3 \div 5$ (см. [1]). Свойства ВЧЕ-разряда при больших межэлектродных расстояниях ($d > 10$ см) практически не исследованы. В то же время ВЧЕ-разряд при давлении $p = 13.3 \div 133$ Па и межэлектродном расстоянии $d = 20 \div 30$ см эффективно применяется для обработки кожно-меховых полуфабрикатов [2].

Межэлектродное расстояние является одним из основных параметров ВЧЕ-разряда, так как при $d \sim 10$ см и более существенную роль в поддержании разряда играет нагрев газа, несущественный при малых d . В связи с этим построена математическая модель ВЧЕ-разряда пониженного давления ($p = 13.3 \div 133$ Па) в одномерном приближении, позволяющая оценить основные характеристики положительного столба и слоя положительного заряда в плазмотроне с большим межэлектродным расстоянием: концентрации электронов и ионов, электронную и газовую температуру, электрическое поле.

Построенная система краевых и начально-краевых задач характеризуется несколькими особенностями, осложняющими разработку алгоритма и численного метода ее решения.

Во-первых, она состоит из задач разного типа: начально-краевых задач для уравнений с частными производными параболического типа, краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, в которые время входит как параметр.

Во-вторых, установившееся состояние ВЧ-разряда пониженного давления в данной модели характеризуется периодическим решением.

В-третьих, характерной особенностью задачи являются большие градиенты плотности заряженных частиц и напряженности электрического поля в приэлектродных слоях, что

приводит при конечномерной аппроксимации задачи к необходимости использования неравномерной сетки со сгущением вблизи электродов.

В-четвертых, представленная система задач является нелинейной.

В работе дан сравнительный анализ эффективности различных разностных схем, применяемых при решении задач, метода простой итерационной замены и метода запаздывающих коэффициентов для линеализации нелинейных уравнений; а также следующих методов для решения нелинейных систем уравнений: дифференциальный аналог метода Зейделя, метод сноса нелинейности на предыдущий слой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 10-01-00728 и 11-01-00864).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Райзер Ю. П., Шнейдер М. Н., Яценко Н. А. *Высокочастотный емкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Приложения*. – М: Изд-во МФТИ; Наука-Физматлит, 1995. – 320 с.

2. Абдуллин И. Ш., Вознесенский Э. Ф., Желтухин В. С., Красина И. В. *Моделирование наноструктуры кожесветящего материала на стадиях производства и при ВЧЕ-плазменной обработке*. – Казань: Изд-во Казан. гос. технологического ун-та, 2009. – 228 с.